动 物 学 研 究 2006，Feb. 27 (1): 23 – 28 CN 53 – 1040/Q ISSN 0254 – 5853
Zoological Research

南亚热带退化植被重建中土壤动物群落变化

徐国良[1,2]，周国逸[1,*]，莫江明[1]
（1. 中国科学院华南植物园 鼎湖山森林生态系统定位研究站，广东 肇庆 526070；
2. 中国科学院研究生院，北京 100039）

摘要：在广东省中部的鹤山市鹤山丘陵综合试验场，分别在草坡、松林、荷木混交林（荷混林）、马占相思林（马占林）和豆科混交林（豆混林）选取 5 块样地，分别代表 5 种处理方式（重建植被类型）。在 2003 ~ 2004 年的 4 个不同季度内分 3 层取土样，利用 Tullgren 干漏斗法采集土壤动物，并分析土壤动物群落个体数量、类群丰度和 *DG* 指数的变化。研究结果表明，季节、植被类型和土层深度对土壤动物群落的各项指标都有极显著影响（$P < 0.01$，three-way-ANOVA）：土壤动物群落指标，在秋季显著为高（$P < 0.05$，DMRT），而夏季显著为低（$P < 0.05$，DMRT）；随土层加深而逐级显著降低；不同植被类型比较，豆混林 > 马占林 > 荷混林、松林和草坡。此外，植被类型还与季节和土层间存在显著的交互作用：土壤动物群落各项指标秋季最高，不同植被类型间的差异也最大；而土壤动物群落各项指标较高的植被类型内不同土层间的差异也较大。由此推测，对退化生态系统进行人工改造是有积极意义的，而不同植被类型间土壤动物的差异可能与凋落物的数量与质量密切相关。

关键词：土壤动物；南亚热带；植被；恢复
中图分类号：S154.5；S718.556 **文献标识码**：A **文章编号**：0254 – 5853 (2006) 01 – 0023 – 06

Changes of Soil Fauna During Forest Restoration in Subtropical China

XU Guo-liang[1,2], ZHOU Guo-yi[1,*], MO Jiang-ming[1]
(1. *Dinghushan Forest Ecosystem Research Station, South China Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Zhaoqing* 526070, *China*;
2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100039, *China*)

Abstract: Changes of soil fauna communities were studied by Tullgren dry funnel method in the grassland, pine, mixed *Schima superba*, *Acacia mangium* and mixed *Acacia* forests during four seasons of 2003 – 2004 at the Heshan Research Station. It suggested that there were significant effects of season, plantation and soil depth on soil fauna ($P < 0.01$, three-way-ANOVA). Soil fauna were conspicuously abundant in autumn ($P < 0.05$, DMRT), but conspicuously succinct in summer ($P < 0.05$, DMRT). Soil fauna decreased significantly ($P < 0.05$, DMRT) into deeper soil and most of them concentrated in 0 – 5 cm soil layer. The order of all plantations was mixed *Acacia* forest > *Acacia mangium* forest > mixed *Schima superba* forest, pine forest and grassland. Significant interaction can also be found between plantation and season, and plantation and soil depth respectively. Soil fauna varied mostly in different plantations in autumn when soil fauna developed to the highest level, and the differences of soil fauna were discovered largely among soil depths with better plantation. It was concluded that man-made reconstruction to ecological system was beneficial to forest restoration, and the differences among various plantations might be correlated closely to the amount and quality of the litter in the forests.

Key words: Soil fauna; Subtropical China; Plantation; Restoration

---

* 收稿日期：2005 – 07 – 28；接受日期：2005 – 10 – 28
基金项目：国家自然科学基金资助项目（30470306）（30270283）；中国科学院知识创新工程重要方向资助项目（KSCX2 – SW – 120）；中国科学院华南植物研究所所长基金资助项目；广东省自然科学基金资助项目（021524）
* 通讯作者（Corresponding author），E-mail：gyzhou@scib.ac.cn
第一作者简介：徐国良（1975 – ），主要从事森林生态系统土壤动物结构、功能及其与全球变化的关系研究。E-mail：xugl75@126.com

恢复生态学是 20 世纪 80 年代迅速发展起来的现代应用生态学的一个分支，主要致力于那些在自然灾变和人类活动压力下受到破坏的自然生态系统的恢复与重建（Zhao et al，1998）。20 世纪 80 年代以来，有关恢复生态学的研究得到了迅速发展，各国都相继开展了有关恢复生态学的研究（Hobbs，1996；Higgs，1997）。

我国华南地区从 20 世纪 50 年代后期即开始深入开展恢复生态学研究，20 世纪 80 年代又在鹤山进一步开展这方面的研究，为热带亚热带退化生态系统恢复与重建和退化生态系统的综合利用提供了示范样板（Yu et al，1995）。距今 20 余年期间，鹤山各类植被都得到了不同程度的发展，植被改造和重建的模式选择效应也已初步显现。例如，鹤山造林 5 年后，林地就有乡土树种出现，其物种多样性不断增加；人工植被恢复后也导致了土壤理化特性的改善（Yu et al，1995）；植被的恢复还改变了系统水量支出和蓄留方式，促使了系统的良性发展（Shen et al，2000）。

植被环境的改变必然对生态系统中的另一重要组分——土壤动物产生显著影响，而且它们作为驱动因子又会反过来对生态系统的演化进程发挥重要作用。然而对于鹤山生态恢复中的土壤动物学研究，除廖崇惠等于试验场建立初期进行过报道外（Liao et al，1995a，b），一直未有进一步的研究报道。

为此，我们从 2003 年 8 月开始，选择广东省中部的鹤山综合试验场 5 个典型的退化生态系统重建植被类型，通过一年 4 个季度取样，研究了不同造林措施对土壤动物的影响及其年动态特征，以深入了解植被改造和重建过程中的生物学效应，为人工林优化构建提供土壤动物学依据。

1 研究背景与方法

1.1 样地背景

中国科学院鹤山丘陵综合开放综合试验站位于广东省中部的鹤山市，东经 112°54′，北纬 22°41′。试验站所在地属南亚热带季风气候，年平均气温 21.7 ℃，极端最高温 37.5 ℃，极端最低温 0 ℃；年均太阳辐射 4 350.5 MJ/（m^2·a）；年均大于等于 10 ℃有效积温为 7 597 ℃；年均降雨量为 1 800 mm，有明显的干、湿季之分：干季为 10 ~ 3 月，湿季为 4 ~ 9 月；年均蒸发量为 1 638.8 mm；丘陵地土壤为赤红壤（砖红壤性红壤）（Shen et al，2000）。

1.2 样地设置

在鹤山丘陵综合试验场 5 种植被内建立样地，分别是草坡、湿地松（*Pinus elliotii*）纯林（简称松林）、马占相思纯林（*Acacia mangium*）（简称马占林）、豆科混交林（简称豆混林）、以荷木（*Schima superba*）为主的乡土树种混交林（简称荷混林）。以这些样地分别代表 5 种处理方式：草坡代表仅保护但未经人为改造；松林代表针叶树及纯林改造；马占林代表固 N、阔叶先锋树种及纯林改造；豆混林代表固 N、阔叶及混交改造；荷混林代表以本地阳生阔叶树为主的中期演替阶段及混交效应。

1.3 采样时间和方法

分别于 2003 年 8（夏）、11（秋）和 2004 年 2（冬）、5 月（春）采样。

在每个样地内随机选取 5 个重复点。在每一点上用直径 8.5 cm 的采土器取 3 个样：F1 层（0 ~ 5cm）、F2 层（5 ~ 10 cm）和 F3 层（10 ~ 15 cm），每个样品由 5 次取样混和而成。这样，一个样地内共取得 15 个样品，每个取样季共得 75 个样品。样品立即带回实验室，用 Tullgren 干漏斗收集其中的土壤动物。

1.4 鉴定、分析方法

标本在 Olympus 体视显微镜（SZ-1145）和 Olympus 研究型相差显微镜（AX70-52E01）下计数及分类，除螨类外，其余各类都鉴定至科（总科）（Yin，1998；Zhen & Gui，1999）。

土壤动物的多样性采用 DG 指数（Liao et al，1997）表示：

$$DG = (g/G)\sum_{i=1}^{g}(D_iC_i/D_{i\max}C)$$

式中 D_i 为第 i 类群个体数；$D_{i\max}$ 为各群落中第 i 类群的最大个体数；g 为群落中的类群数；G 为各群落所包含的总类群数，C_i/C 为 C 个群落中第 i 个类群出现的比率。

采用 Three-way-ANOVA 方法计算和分析植被类型、季节和土层及其交互作用对土壤动物群落的影响，不同水平间的差异显著性利用 Duncan's 多重检验进行。所有统计均在 SPSS11.5 软件下实现。

2 结　果

2.1 季节与土层对土壤动物的影响

季节和土层深度对土壤动物个体数量、类群数、*DG* 指数都有极显著影响（$P < 0.01$）（表 1）。秋季土壤动物个体数量和类群数显著较高（$P < 0.05$），而夏季显著较低（$P < 0.05$）（表 2）。土壤动物各项指标都随土层加深而逐级显著降低，土壤表层极显著为高（$P < 0.01$）（表 3）。

2.2 植被类型对土壤动物的影响

植被类型对土壤动物个体数量、类群数、*DG* 指数有极显著影响（$P < 0.01$）（表 1）。豆混林显著优于其他各植被类型（$P < 0.05$）；马占林显著优于荷混林、松林和草坡（$P < 0.05$）；荷混林、松林和草坡之间差异不显著，但草坡相对更低，且在个体数量上显著更低（$P < 0.05$）（表 4）。

植被类型与季节对土壤动物存在显著的交互作用（表 1）。土壤动物各项指标一年中在夏季最低，在此期间不同植被类型间的变幅也最小（图 1）；秋季最高，不同植被类型间的差异也最大，此时豆混林 > 马占林 > 荷混林、松林和草坡。从夏季（最低）到秋季（最高），土壤动物个体数量在豆混林、马占林、荷混林、针叶林和草坡分别上升了 184.59%、163.30%、122.90%、39.81% 和 66.80%；*DG* 指数在混交林、马占林、荷混林、松林和草坡分别上升了 96.43%、69.23%、105.56%、18.52% 和 13.64%。可见，土壤动物随季节在不同植被间差别较大，一般基数越大的变化幅度越大。

植被类型对不同土层中土壤动物也有显著的交互作用（表 1）。土壤动物各项指标 F1 层极显著高于其他两层（$P < 0.01$），而且在不同植被类型间

表 1　植被类型、土层及季节对土壤动物个体数量、类群数和 *DG* 指数影响的 Three-way ANOVA 分析的 *F* 值

Tab. 1　Three-way ANOVA table on effects of plantation, soil depth and season on soil animal density, group richness and *DG* index

	个体数量 Density	类群数 Group richness	*DG* 指数 *DG* index
季节 Season	58.41***	24.23***	17.56***
植被类型 Plantation	60.36***	61.63***	81.04***
土层 Soil depth	633.67***	708.95***	781.74***
季节 × 植被类型 Season × Plantation	8.60***	2.47**	5.56***
季节 × 土层 Season × Soil depth	18.99***	2.21*	10.29***
土层 × 植被类型 Soil depth × Plantation	33.19***	9.67***	57.61***
季节 × 植被类型 × 土层 Season × Plantation × Soil depth	3.96***	1.47^{ns}	5.25***

*** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; ^{ns} $P > 0.05$.

表 2　2003 ~ 2004 年 4 个季节内土壤动物群落个体数量、类群数和 *DG* 指数

Tab. 2　Distribution of soil fauna (density, group richness and *DG* index) during 2003 to 2004

	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter
个体数量 Density	101.07^{b}	74.15^{c}	167.45^{a}	102.93^{b}
类群数 Group richness	15.65^{b}	13.23^{d}	17.13^{a}	14.27^{c}
DG 指数 *DG* index	0.56^{a}	0.32^{b}	0.54^{a}	0.54^{a}

表中数据为各植被类型的平均值（Means of all plantations showed）；同一行中带不同字母者差异显著（$P < 0.05$，DMRT）（Means followed by different letter within a row differ significantly at $P < 0.05$，DMRT）。

表 3　2003 ~ 2004 年 3 个土层内土壤动物群落个体数量、类群数和 *DG* 指数

Tab. 3　Distribution of soil fauna (density, group richness and *DG* index) in three soil depths during 2003 to 2004

	0 ~ 5 cm	5 ~ 10 cm	10 ~ 15 cm
个体数量 Density	241.24^{a}	57.73^{b}	35.23^{c}
类群数 Group richness	24.07^{a}	12.14^{b}	9^{c}
DG 指数 *DG* index	1.22^{a}	0.17^{b}	0.08^{c}

表中数据为各季节的平均值（Means of all seasons showed）；同一行中带不同字母者差异显著（$P < 0.05$，DMRT）（Means followed by different letter within a row differ significantly at $P < 0.05$，DMRT）。

表 4 2003~2004 年 5 种植被类型土壤动物群落个体数量、类群数和 *DG* 指数

Tab. 4 Distribution of soil fauna (density, group richness and *DG* index) in five plantations during 2003 to 2004

	草坡 Grassland	松林 Pine forest	荷混林 Mixed *Schima superba* forest	马占林 *Acacia mangium* forest	豆混林 Mixed Acacia forest
个体数量 Density	69.22[d]	85.60[c]	87.37[c]	136.78[b]	178.05[a]
类群数 Group richness	13.33[c]	12.98[c]	12.82[c]	16.42[b]	19.80[a]
DG 指数 *DG* index	0.30[c]	0.35[c]	0.33[c]	0.54[b]	0.93[a]

表中数据为各季节的平均值 (Means of all seasons showed); 同一行中带不同字母者差异显著 ($P<0.05$, DMRT) (Means followed by different letter within a row differ significantly at $P<0.05$, DMRT)。

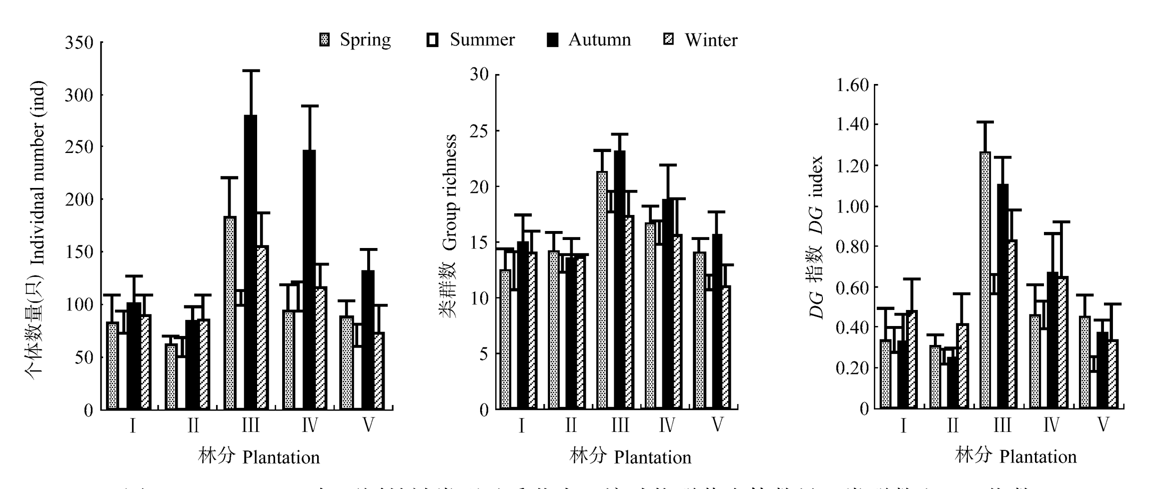


图 1 2003~2004 年不同植被类型及季节内土壤动物群落个体数量、类群数和 *DG* 指数

Fig. 1 Distribution of soil fauna (density, group richness and *DG* index) in different plantations and seasons during 2003-2004

Ⅰ: 松林 (Pine forest); Ⅱ: 草坡 (Grassland); Ⅲ: 豆混林 (Mixed *Acacia* forest); Ⅳ: 马占林 (*Acacia mangium* forest); Ⅴ: 荷混林 (Mixed *Schima superba* forest)。

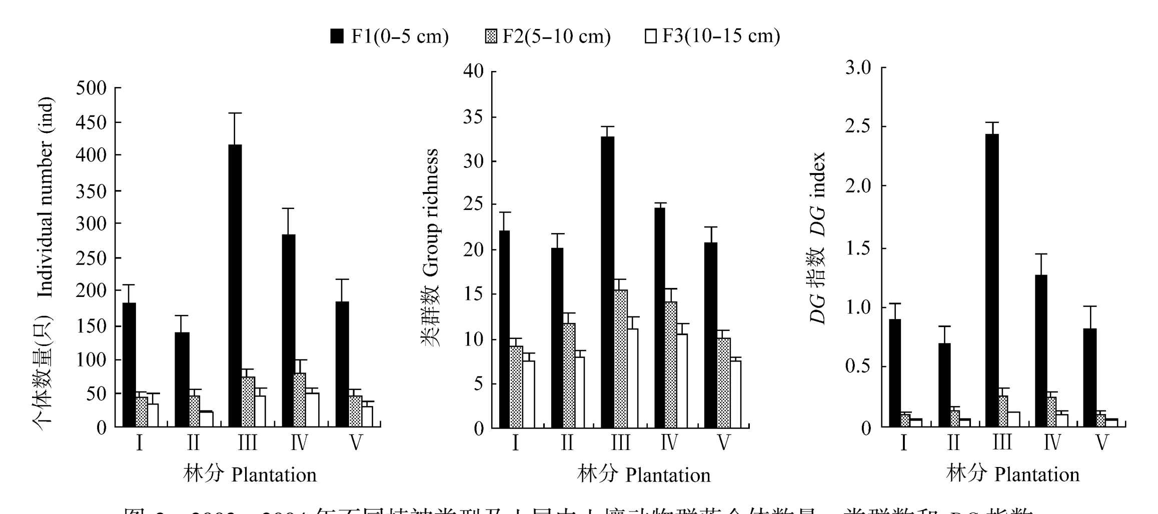


图 2 2003~2004 年不同植被类型及土层内土壤动物群落个体数量、类群数和 *DG* 指数

Fig. 2 Distribution of soil fauna (density, group richness and *DG* index) in different plantations and soil depths during 2003-2004

Ⅰ: 松林 (Pine forest); Ⅱ: 草坡 (Grassland); Ⅲ: 豆混林 (Mixed *Acaci*a forest); Ⅳ: 马占林 (*Acacia mangium* forest); Ⅴ: 荷混林 (Mixed *Schima superba* forest)。

的变幅也最大，豆混林 > 马占林 > 荷混林、松林和草坡。这与土壤动物在各植被类型中总的分布格局完全一致 (图 2)。

3 讨 论

3.1 土壤动物群落的变化与植被改造效应

土壤动物群落组成结构与植被状况密切相关（Chen & Yin，2000；Zhang et al，1999）。对大孤山铁矿废弃地生态环境恢复与重建的研究发现，大型土壤动物种类和数量变化标志着废弃地生态环境恢复与重建阶段的进程，而且大型土壤动物群落生态结构与生物量的变化显示了废弃地生态环境恢复与重建的质量（Wu & Hu，2003）；在退化红壤上进行的研究表明，造林种的选择对土壤动物发展影响很大，混交林体现了一定的“混交优势”（Liu et al，2002）。在电白小良热带人工森林生态系统研究站进行的植被改造、恢复与演替进程研究中，通过对土壤动物的研究，提出利用桉树作为改造小良侵蚀台地的先锋树种是成功的，而阔叶混交林更好地促进了土壤动物的多样化和丰盛度（Liao et al，1990）。本研究结果也表明，退化生态系统的人工改造是有积极意义的，也体现了一定的混交优势。土壤动物的各指标特征都显示豆科混交林显著优于其他各植被类型；而未经任何人为干预、自然恢复的草坡生态系统土壤动物各项指标最低。

另外，根据本研究结果，可以认为鹤山人工林生态系统整体上尚处于发育的初级阶段。首先，荷混林、松林与草坡的土壤动物尚无显著差异。其次，在基数较大、植被环境较优的人工林内土壤动物的发展空间亦大，如土壤动物群落指数最高的豆混林，在适宜土壤动物发展的秋季，它的增长幅度也最大。这揭示各植被类型都尚未达到相对稳定的状态，因为在成熟的森林生态系统中，土壤动物类群组成及数量分布具有相对的稳定性，其变化会比低阶的次生林小（Yang & She，1998）。再次，土壤表层与其下各土层的分异极其明显，表层代表了不同人工林土壤动物总体水平的差异，这与该地带成熟林的情况（Liao et al，1997）差别很大，可以说明该地土壤尚未充分熟化，生态系统尚处于演替的初级阶段。

3.2　凋落物的作用

不同植被类型间土壤动物的差异可能与凋落物的数量与质量密切相关。因为，土壤动物的丰缺与森林凋落物量、分解率呈正相关；凋落物覆盖层是土壤有机质的重要来源，而且对涵养水分、稳定土温具有重要作用。在丰厚凋落物的森林土壤中，土壤动物既有丰富的食物来源（直接和间接），又有稳定的生存环境（Yang & She，1998）。在本研究样地，马占相思年凋落量最大，达 11.1 t/hm^2，而后为湿地松 7.3 t/hm^2，荷木为 6.5 t/hm^2（Li et al，2000）。在土壤动物调查过程中发现，豆科混交林凋落物层最厚，一般在 10 cm 左右；马占相思林为 5～10 cm，松林凋落物层也较厚，为 5 cm 左右；荷混林和草坡的地表凋落物层都很薄。凋落物的质量对土壤动物也有重要影响。马占相思叶的营养成分比较丰富，腐烂后可以极大改善了林地土壤有机质含量（Ren et al，2000）；而湿地松虽有较高的落叶量却含有相对少的 N 量（Li et al，2000），且针叶属硬叶类，本身较难分解，不为土壤动物所喜好（Liao et al，1995b）。因此，在鹤山人工林生态系统中，凋落物数量和质量均高的豆科混交林和马占林土壤动物与其他植被类型形成了明显的区别。土壤表层与凋落物层直接相关，受其影响最大，因此土壤表层土壤动物的绝对优势及其对各植被类型总体特征的代表性也表明了凋落物对生态系统土壤动物的重要影响。

3.3　季节变化对土壤动物的影响

季节对土壤动物的影响很明显：土壤动物各项指标在秋季（11 月）达到最高水平，夏季（8 月）最低。这可能与该地区的气温与降水年分布有关。14.3～24.3 ℃是土壤动物生存最适宜的温度范围。大量的降雨不仅有较强的冲刷作用，而且使土壤容重高，结构紧密，会对中小型土壤动物物种和个体数的分布与发生产生负面影响；特别是暴雨，会直接危及线虫和其他大中型土壤动物（Liao et al，2003；Yang & Sha，2001）。据鹤山试验站气象观测资料，马占林、荷木林和松林内 8 月平均温度分别为 28.79 ℃、28.54 ℃、28.98 ℃，11 月分别为 21.26 ℃、20.68 ℃、20.66 ℃（Lin et al，2003）；8 月平均降雨量为 272.7 mm，11 月为 80.4 mm（Zhou et al，1995）。显然 11 月的温湿条件都更适于土壤动物。这也与 Liao et al（2003）在邻近区域海南的研究结果相同。

参考文献：

Chen YB，Yin XQ. 2000. The study of soil animals community in difference forest type in Liangshui Zone［J］. *J Shanghai Teach Univ*

(Natural Sciences), **29**(2): 79-84.[陈颖彪, 殷秀琴. 2000. 凉水地区不同林型土壤动物群落研究. 上海师范大学学报(自然科学版), **29**(2): 79-84.]

Higgs ES. 1997. What is good ecological restoration [J]. *Conserv Biol*, **11**(2): 338-348.

Hobbs RJ. 1996. Towards a conceptual framework of restoration ecology [J]. *Restor Ecol*, **4**(2): 93-110.

Li ZA, Ling YB, Peng SL. 2000. Nutrient content in litterfall and its translocation in plantation forests in South China [J]. *Chin J Appl Ecol*, **11**(3): 321-326.[李志安, 林永标, 彭少麟. 2000. 华南人工林凋落物养分及其转移. 应用生态学报, **11**(3): 321-326.]

Liao CH, Chen MQ. 1990. Secondary succession of soil animal community and its development process in tropical artificial forest [J]. *Chin J Appl Ecol*, **1**(1): 56-61.[廖崇惠, 陈茂乾. 1990. 热带人工林土壤动物群落次生演替和发展过程的探讨. 应用生态学报, **1**(1): 56-61.]

Liao CH, Lin SM, Li JX, Chen JH, Huang HT. 1995a. A comparative study of soil animals on litter decomposition in varied types of artificial forests [J]. *Acta Ecol Sin*, **15**(A): 197-203.[廖崇惠, 林少明, 李健雄, 陈锦华, 黄海涛. 1995a. 不同类型人工林土壤动物群落结构与功能研究Ⅲ, 3个人工林凋落物的分解试验. 生态学报, **15**(A): 197-203.]

Liao CH, Lin SM, Li YQ, Chen JH. 1995b. The relation between biomass of soil animals and decomposition of forest litter [J]. *Acta Ecol Sin*, **15**(A): 156-164.[廖崇惠, 林少明, 李耀泉, 陈锦华. 1995b. 土壤动物生物量与森林凋落物分解的关系. 生态学报, **15**(A): 156-164.]

Liao CH, Li JX, Huang HT. 1997. Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region, China [J]. *Acta Ecol Sin*, **17**(5): 549-555.[廖崇惠, 李健雄, 黄海涛. 1997. 南亚热带森林土壤动物群落多样性研究. 生态学报, **17**(5): 549-555.]

Liao CH, Li JX, Yang YP, Zhang ZC. 2003. The community of soil animal in tropical rain forest in Jianfeng Mountain, Hainan Island, China: Relationship between seasonal change of community structure and climatic factors [J]. *Acta Ecol Sini*, **23**(1): 139-147.[廖崇惠, 李健雄, 杨悦屏, 张振才. 2003. 海南尖峰岭热带林土壤动物群落——群落结构的季节变化及其气候因素. 生态学报, **23**(1): 139-147.]

Liu MQ, Hu F, Li HX, Chen XY, He YQ. 2002. Soil arthropod communities under different artificial woodland restored on degraded red soil [J]. *Acta Ecol Sin*, **22**(1): 54-61.[刘满强, 胡 锋, 李辉信, 陈小云, 何圆球. 2002. 退化红壤不同人工林恢复下土壤节肢动物群落特征. 生态学报, **22**(1): 54-61.]

Lin YB, Shen WJ, Peng SL, Ren H, Li MH. 2003. Comparison microclimatological effects of three plantations in Heshan of the lower subtropical, China [J]. *Acta Ecol Sin*, **23**(8): 1657-1666.[林永标, 申卫军, 彭少解, 任 海, 李明辉. 2003. 南亚热带鹤山三种人工林小气候效应对比. 生态学报, **23**(8): 1657-1666.]

Ren H, Peng SL, Xiang YC. 2000. Biomass and net primary productivity in an *Acacia mangium* plantation in Heshan, Guangdong, China [J]. *Acta Phytoecol Sina*, **24**(1): 18-21.[任 海, 彭少麟, 向言词. 2000. 鹤山马占相思人工林的生物量和净初级生产力. 植物生态学报, **24**(1): 18-21.]

Shen WJ, Peng SL, Zhou GY, Lin YB, Ren H. 2000. Hydrological properties and water balance of grassland ecosystem in Heshan hill region [J]. *Acta Phytoecol Sin*, **24**(2): 162-168.[申卫军, 彭少麟, 周国逸, 林永标, 任 海. 2000. 鹤山丘陵草坡的水文特征及水量平衡. 植物生态学报, **24**(2): 162-168.]

Wu DH, Hu K. 2003. Large soil animals indication functions of reclamation of ecological environment in iron-mine abandoned of Dagushan, Anshan City [J]. *J Jiling Univ* (Earth Science Edition), **33**(2): 213-216.[吴东辉, 胡 克. 2003. 大型土壤动物在鞍山市大孤山铁矿废弃地生态环境恢复与重建中的指示作用. 吉林大学学报, **33**(2): 213-216.]

Yang XD, She YP. 1998. The character of composition and distribution on soil fauna under tropical forests of Xishuargbanna in rainy season [J]. *Journ of NE Forestry Univ*, **26**(6): 65-70.[杨效东, 佘宇平. 1998. 西双版纳热带森林雨季土壤动物群落组成与分布特征. 东北林业大学学报, **26**(6): 65-70.]

Yang XD, Sha LQ. 2001. Species composition and diversity of soil mesofauna in the "Holy Hills" fragmentary tropical rain forest of Xishuangbanna, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, **12**(2): 261-265.[杨效东, 沙丽清. 2001. 西双版纳"龙山"片断热带雨林中小型土壤动物群落组成与多样性研究. 应用生态学报, **12**(2): 261-265.]

Yi WY. 1998. Pictorical Keys to Soil Animals of China [M]. Beijing: Science Press.[尹文英. 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社.]

Yu ZY, Peng SL. 1995. The artificial and natural restoration of tropical and subtropical forests [J]. *Acta Ecol Sin*, **15**(A): 1-16.[余作岳, 彭少麟. 1995. 热带亚热带退化生态系统的植被恢复及其效应. 生态学报, **15**(A): 1-16.]

Zhao XY, Sun CQ. 1998. Restoration ecology and its advance [J]. *Adv Earth Sci*, **13**(5): 474-480.[赵晓英, 孙成权. 1998. 恢复生态学及其发展. 地球科学进展, **13**(5): 474-480.]

Zhang XP, Li CY, Yin XQ, Chen P. 1999. Relation between soil animals and nutrients in the differently used forest lands [J]. *Chin J. Appl Environ Biol*, **5**(1): 26-31.[张雪萍, 李春艳, 殷秀琴, 陈 鹏. 1999. 不同使用方式林地的土壤动物与土壤营养元素的关系. 应用与环境生物学报, **5**(1): 26-31.]

Zhen LY, Gui H. 1999. Insect Classification [M]. Nanjing: Normal University Press.[郑乐怡, 归 鸿. 1999. 昆虫分类学. 南京: 南京师范大学出版社.]

Zhou GY, Peng SL, Yu ZY. 1995. Appoach on hydrological process of *Acacia mangium* plantation [J]. *Acta Ecol Sin*, **15**(A): 211-216.[周国逸, 彭少麟, 余作岳. 1995. 马占相思人工林某些水文学过程的基本规律初探. 生态学报, **15**(A): 211-216.]